

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ГЕНЕРАЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОТОКОВ ПЛАЗМЫ НА ПОВЕРХНОСТЬ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

А.М. Жукешов, А.Т. Габдуллина, А.У. Амренова, Ж.М. Молдабеков,
Ж. Рысбекова, С. Бейсембаев, К. Серик

*Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики
Казахского Национального университета им. аль-Фараби*

В работе представлены результаты по исследованию модификации конструкционных материалов после воздействия импульсными потоками плазмы в режиме со сплошным наполнением. Исследована взаимосвязь изменений в структуре и твердости поверхности материала при различных условиях генерации потока. Показано, что однократная и многократная обработка приводит к различию в структуре и характеристиках модифицированного материала.

Введение

Воздействие импульсных высокоэнергетических потоков на поверхность материала приводит к изменению характеристик тонкого поверхностного слоя толщиной от нескольких десятков до сотен микрон, позволяя сохранить полезные эксплуатационные свойства материала в целом. Основными эффектами воздействия импульсных потоков плазмы являются интенсивный нагрев, обусловленный высокой плотностью мощности, и последующее сверхбыстрое охлаждение со скоростью порядка 10^6 - 10^8 К/с. Эти преимущества позволяют широко использовать импульсные потоки плазмы в различных технологических процессах [1-3].

В работе [4] было исследовано формирование импульсных плазменных потоков, генерируемых ускорителем КПУ-30, в так называемом сплошном режиме. Ускоритель формирует плазменные сгустки со скоростями $(0,2-1,3) \cdot 10^5$ м/с. Концентрация частиц в потоке изменяется в диапазоне от 10^{10} до 10^{14} см⁻³. Плотность энергии плазменного сгустка составляет 5-50 Дж/см², соответственно плотность мощности достигает значений 0,5-5 МВт/см². В работе [4] был использован режим работы ускорителя с импульсным напуском рабочих газов N₂ и CO₂ через электродинамический клапан.

Представляет интерес исследовать воздействие на материал плазмы из воздуха, так как это упрощает реализацию технологического процесса обработки [5]. При использовании достаточно высоких рабочих давлений более 0.1 мм.рт.ст., концентрация азота в воздухе порядка 10^{16} см⁻³. При этом если область плазменного образования достаточно большая, то можно обеспечить необходимую для легирования дозу. Как указано в работе [6], при использовании импульсных плазменных ускорителей внедряемая доза составляет порядка 10^{16} - 10^{17} частиц, что достаточно для легирования металлов. Поэтому, в данной работе исследовано влияние рабочего давления воздуха и количества импульсов на изменения в структуре и процессы фазообразования в углеродистой стали. Для обеспечения требуемых параметров плазмы при обработке исследуемой стали использовался режим работы ускорителя со сплошным наполнением воздуха при рабочих давлениях 0.04 и 0.1 мм.рт.ст.

Основная часть

Образцы исследуемой углеродистой стали были вырезаны в форме пластин размерами 1.5×1.5×0.5 см. Твердость материала по Виккерсу была измерена на металлографическом микроскопе «Метавал» при нагрузке индентора 20 г. Для анализа структурно-фазовых изменений был применен дифрактометр D8 ADVANCE с использованием медного излучения с монохроматором на дифрагированном пучке.

Основой углеродистой стали в исходном состоянии является феррит с ОЦК-решеткой и параметром $a = 2.8691 \pm 0.0005$ Å. Обработка плазмой воздуха при давлении $P=0.04$ Торр привела к образованию фазы с ГЦК-решеткой, которая соответствует фазе аустенита (γ -Fe). Появление γ -Fe говорит о нагреве поверхности стали до температур, при которых возможен переход α -железа (феррита) в γ -Fe и кроме основной фазы феррита образуется аустенитная фаза. В итоге в поверхностном слое материала формируется двухфазный раствор. При этом с ростом плотности энергии (Q) параметр решетки аустенита меняется от $a=3.6172 \pm 0.0047$ Å до $a=3.6223 \pm 0.0028$ Å, что может быть связано с искажением решетки при кристаллизации. По методу Шеррера были определены размеры кристаллитов феррита и аустенита в обработанных образцах (рис. 1). Из рисунка видно, что с ростом Q размеры кристаллитов γ -Fe уменьшаются до размеров кристаллитов феррита. Структурные изменения существенным образом влияют на твердость исследуемого материала. По результатам измерения микротвердости (H_V) поверхности образцов углеродистой стали (рис. 2) можно сказать, что H_V прямо пропорционально зависит от плотности энергии, причем твердость материала при этом возрастает более чем в 4 раза. Рост микротвердости, по видимому, связан с уплотнением поверхностного слоя стали при уменьшении размеров кристаллитов после обработки образцов интенсивным потоком плазмы.

Воздействие несколькими импульсами плазмы воздуха на поверхность образцов углеродистой стали также приводит к структурным изменениям. В образцах исследуемой стали после обработки кроме основного α -твердого раствора железа с параметром кристаллической решетки

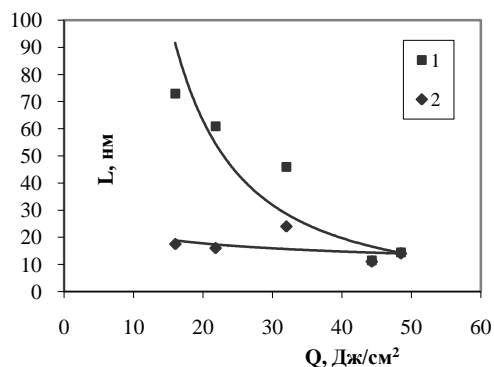


Рис. 1. Однократная обработка (воздух): 1 – феррит, 2 – аустенит.

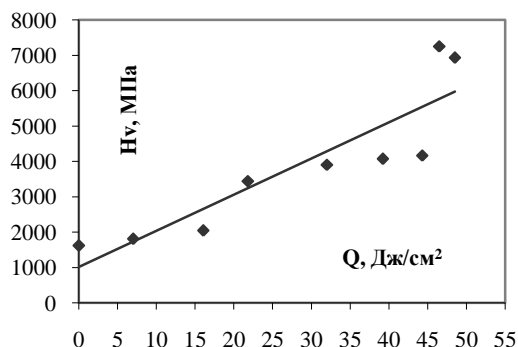


Рис. 2. Изменение микротвердости поверхности обработанных плазмой образцов

$a=2.8603 \pm 0.0009$ Å в значительном количестве имеется вторая фаза с параметром решетки $a=3.6295 \pm 0.0018$ Å, близким к параметру искаженной решетки аустенита. Кроме того, при обработке 5 и 10 импульсами в образцах в малом количестве присутствует мартенсит (линия $\theta=44.005^\circ$), а обработка 20 и 30 импульсами приводит к образованию в небольшом количестве нитрида железа – $Fe_{24}N_{10}$, который представлен на дифрактограммах уширенными диффузными линиями.

Результаты рентгеноспектрального анализа показывают с количеством импульсов N уменьшение процентного содержания железа и увеличение углерода (таблица). Насыщение углеродом, по-видимому, происходит в результате внедрения его в поверхностный слой образцов из плазмы воздуха в процессе многократной обработки. Уменьшение содержания железа можно

объяснить распылением материала при интенсивном воздействии потока плазмы. Замечено, что при плазменной обработке небольших образцов (диаметр плазменного потока около 8 см) часть материала осажается на элементы держателей.

Зависимость размеров кристаллитов от количества импульсов (N) в случае многократной обработки. Видно, что структурные параметры не сильно изменяются при увеличении N . Измерения микротвердости поверхности углеродистой стали показали, что увеличение твердости происходит при первых пяти импульсах, и в дальнейшем существенно не меняется.

Заключение

По результатам экспериментальных работ по импульсной плазменной обработке углеродистой стали на КПУ-30 можно сделать следующие выводы. При однократной обработке упрочнение материала при увеличении плотности энергии Q связано с уменьшением размеров формируемых кристаллитов α -железа. В случае многократной обработки кроме аустенитной фазы дополнительно формируются мартенсит и нитрид железа, которые существенным образом не влияют на физико-механические свойства поверхностного слоя материала. Наличие нитрида железа показывает, что многократная обработка большим количеством импульсов N в режиме сплошного наполнения воздухом при рабочем давлении 0,1 мм.рт.ст. позволяет легировать поверхностный слой стали. Но для достижения высоких доз внедрения, по-видимому, необходимо использовать большее количество воздействий.

Список литературы

- 1 Погребняк А.Д., Ильяшенко М.В., Кульментьева О.П. и др. // ЖТФ. 2001. Т. 71. Вып. 7. С. 111-118.
- 2 Tereshin V.I., Bandura A.N., Bovda A.M. et al. // Rev. Sci. Instrum. 2002. V. 73. № 2. P.831-833
- 3 Баимбетов Ф.Б., Ибраев Б.М., Жукешов А.М. и др. // Материалы конференции по физике плазмы и плазменным технологиям (ФППТ-2). Минск. 1997. Т.3. С. 551-554
- 4 Zhukeshov A. M. // Plasma Devices and Operations. V. 17. №. 1. 2009. P. 73-81
- 5 Baimbetov F. B., Zhukeshov A. M. and Amrenova A. U. // Technical Physics Letters. 2007. V. 33. № 1. P. 77-79.
- 6 Piekoszewski J. et.al. // Nukleonika. 2000. V. 45. № 3. С.193-197

THE INFLUENCE OF PULSED PLASMA FLOW GENERATION MODE ON CONSTRUCTIONAL STEEL SURFACE

A.M. Zhukeshov, A.T. Gabdullina, A.U. Amrenova, Z.M. Moldabekov,
J. Rysbekova, S. Beysenbaev, K. Serik
Science research institute of physics
of Kazakh national university named after al-Farabi

The research results of the modification of constructional materials after exposure to pulsed plasma flows in continuously filling mode are presented. The interrelation of changes in the structure and hardness of the surface of the material under various conditions of flow generation are researched. It was shown, that single and multiple treatment leads to a difference in structure and characteristics of the modified material.